



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**  
**PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO**  
**CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS**  
**BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**RAQUEL BARROSO LEITE FURTADO**

**ABORDAGENS PARA GERAÇÃO DE TABELAS DE HORÁRIOS ESCOLARES:**  
**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

**PAU DOS FERROS**

**2022**

**RAQUEL BARROSO LEITE FURTADO**

**ABORDAGENS PARA GERAÇÃO DE TABELAS DE HORÁRIOS ESCOLARES:  
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Reudismam Rolim de Sousa, Prof.  
Dr

PAU DOS FERROS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F992a Furtado, Raquel Barroso Leite .  
Abordagens para geração de tabelas de horários  
escolares: uma revisão sistemática da literatura  
/ Raquel Barroso Leite Furtado. - 2022.  
49 f. : il.

Orientador: Reudismam Rolim de Sousa.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e  
Tecnologia, 2022.

1. Abordagem. 2. Instituição de ensino. 3.  
Grade de horários. I. Sousa, Reudismam Rolim de ,  
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros  
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva  
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**RAQUEL BARROSO LEITE FURTADO**

**PROJETO DE UM SOFTWARE PARA AUXILIAR NO PROCESSO DE COMPRAS  
DE MATERIAIS NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO -  
CAMPUS PAU DOS FERROS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: **25 / 11 / 2022.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Reudismam Rolim de Sousa - UFERSA  
Presidente

---

Prof. Dr. Leandro de Almeida Melo - UFERSA  
Membro Examinadora

---

Me. Matheus Henrique Lopes da Silva - UFERSA  
Membro Examinado

Aos meus pais, com todo meu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre caminhar comigo, me conceder saúde e força para vencer todos os dias. A Ele devo tudo o que tenho e tudo o que sou.

Agradeço à minha família por estar sempre presente me apoiando, incentivando e por me ensinar que o caminho nem sempre é fácil, mas vale a pena lutar em todos os momentos.

Agradeço em especial a minha mãe Izabel Cristina, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos. Por sempre lutar comigo, não medindo esforços para que eu pudesse chegar até aqui e realizar mais um de meus sonhos.

Ao meu namorado Guilherme, por toda paciência, por me acalmar, incentivar, me ajudar e mostrar o quanto sou capaz.

Agradeço especialmente ao meu orientador, por me guiar durante a fundamentação e construção deste trabalho, por toda dedicação, paciência e confiança.

A todas as pessoas, que mesmo não citando aqui, contribuíram de alguma forma na conclusão desta etapa e para pessoa que sou hoje.

## RESUMO

O problema da Geração de Tabelas Horário Escolares não é um problema recente, mas vem se mantendo atualmente, sendo considerado um dos problemas mais difíceis da área de otimização combinatória. A busca por uma solução manual não é uma tarefa trivial. A depender do número de restrições que devem ser atendidas, este problema se torna *NP-hard*, aumentando drasticamente a complexidade para se obter uma solução, se realizada através de métodos manuais. O presente trabalho propõe expor, através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), os trabalhos que abordam esse tema desde 2017 e elencá-los com base em critérios propostos, almejando entender melhor como o problema em questão está sendo tratado e quais estratégias são mais utilizadas. Ao longo da condução da revisão foram definidos questões de pesquisa, critérios de inclusão e exclusão, critérios de qualidade, dentre outros elementos presentes na elaboração desse tipo de estudo. A *string* de busca foi aplicada em base de dados comumente utilizadas em revisões da literatura da área de Tecnologia da Informação. Os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados e ao final da revisão foram selecionados 17 trabalhos, em que se identificou que os trabalhos da literatura estão tendendo a uma consolidação de métodos aplicáveis, com redução de novas propostas para a área, assim como foi identificado o interesse crescente no uso de heurísticos na solução do problema, visto que abordagens exaustivas demandam tempo e processamento altos para gerar resultados. Também se percebeu que as abordagens são modeladas baseadas nas necessidades de cada instituição, o que dificulta a obtenção de uma solução genérica, que atenda a todas as instituições concomitantemente.

**Palavras-chave:** Abordagem. Instituição de ensino. Grade de horários.

## ABSTRACT

The problem of Generating School Schedule Tables is not recent, but it has been maintained nowadays and is considered one of the most difficult problems in the area of combinatorial optimization. The search for a manual solution is not a trivial task. Depending on the number of restrictions that must be met, this problem becomes NP-hard, drastically increasing the complexity to obtain a solution, if performed through manual methods. The present work proposes to expose, through a Systematic Literature Review (SLR), the works that address this theme since 2017 and list them based on proposed criteria, aiming to better understand how the problem in question is being treated and what strategies are used. During the conduction of the review, research questions, inclusion and exclusion criteria, and quality criteria, among other elements present in the elaboration of this type of study were defined. The search string was applied to databases commonly used in literature reviews in the area of Information Technology. The inclusion and exclusion criteria were applied and, at the end of the review, 17 works were selected, in which it was identified that the works in the literature are tending to a consolidation of applicable methods, with a reduction of new proposals for the area, as well as it was identified the growing interest in the use of heuristics in the solution of the problem since exhaustive approaches demand high time and processing to generate results. It was also noticed that the approaches are modeled based on the needs of each institution, which makes it difficult to obtain a generic solution that serves all institutions simultaneously.

**Keywords:** Approach. Educational institution. Timetable.



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	–	Etapas e atividades de RSL	20
----------	---	----------------------------	----

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	–	Definição da população, intervenção e saída	22
Tabela 2	–	Quantitativo de trabalhos selecionados por base	25
Tabela 3	–	Índice de qualidade de cada artigo aceito	25

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Distribuição anual dos artigos	27
Gráfico 2	–	Distribuição por país dos artigos	27
Gráfico 3	–	Proporção sobre o tipo de instituição que desenvolveu a pesquisa	28
Gráfico 4	–	Divisão por nível de ensino da instituição que recebeu o sistema	28
Gráfico 5	–	Proporção da distribuição de métodos empregados	29
Gráfico 6	–	Linguagens de programação empregadas	30
Gráfico 7	–	Tipos de plataformas empregadas nos artigos	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSL	Revisão Sistemática da Literatura
TTP	<i>Timetable Problem</i>
GA	<i>Genetic Algorithms</i>
TS	<i>Tabu search</i>
ILS	<i>Iterated Local Search</i>
GRASP	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>
EMF	<i>Eclipse Modeling Framework</i>
MDE	<i>Model Driven Architecture</i>
SA	<i>Simulated Annealing</i>
GS	<i>Greedy Search</i>
SI	<i>Swarm Intelligence</i>
DFA	<i>Discreet Firefly Algorithm</i>
FA	<i>Firefly Algorithm</i>
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
GAPSO	<i>Genetic Algorithms Particle Swarm Optimization</i>
ELTS	<i>Electronic Lecture Time-table Scheduler</i>
CSO	<i>Cat Swarm Optimization</i>
EA	<i>Evolutionary Algorithm</i>
LNS	<i>Large Neighborhood Search</i>
DSL	<i>Domain Specific Languages</i>
ILP	<i>Integer Linear Programming</i>
CTTPCR	<i>Class-Teacher Timetabling Problem with Compactness Requirements</i>
MP	<i>Master Problem</i>
GHSTP	<i>Generalized High School Timetabling Problem</i>
HSTP	<i>High-School Time-tabling Problem</i>
MIP	<i>Mixed-Integer Programming</i>

VNS	<i>Variable Neighborhood Search</i>
DIMB	<i>Diversification–Intensification Memory Based</i>
GASPHH	<i>Genetic Algorithm Selection Perturbative Hyper-Heuristic</i>
SPHH	<i>Selection Perturbative Hyper-Heuristic</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	14
<b>1.1 Problematização</b>	15
<b>1.2 Justificativa</b>	16
<b>2 OBJETIVOS</b>	17
<b>2.1 Objetivo geral</b>	17
<b>2.2 Objetivo específico</b>	17
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	18
<b>3.1 Problema da geração de grades de horários</b>	18
<b>3.2 Métodos de otimização</b>	20
<b>3.3 Revisão sistemática da literatura</b>	21
<b>3.4 Parsifal</b>	22
<b>4 METODOLOGIA</b>	23
<b>4.1 Planejamento</b>	23
4.1.1 Questões de pesquisa	23
4.1.2 Seleção de fontes e string de busca	23
4.1.3 Critérios de inclusão e exclusão	24
4.1.4 Critérios de qualidade	25
4.1.5 Formulário de extração de dados	25
<b>4.2 Condução</b>	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	27
<b>5.1 Principais resultados</b>	28
<b>5.2 Trabalhos selecionados</b>	33
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	45
<b>REFERÊNCIAS</b>	47

## 1 INTRODUÇÃO

Nas instituições de ensino, as matrículas são realizadas a cada semestre ou ano, havendo a necessidade de análise para a construção de grades de horário. As grades de horários são de suma importância, pois é com elas que se observa as disponibilidades dos professores, a quantidade de aulas por dia, quais salas estarão disponíveis, entre outros pontos. Essa alocação de recursos em determinados horários, deve obedecer alguns critérios.

Segundo Aladag e Hocaoglu (2007), para a construção de uma grade de horários, algumas restrições e características devem ser observadas, principalmente, quando envolvem alunos, professores e salas em comum. Por exemplo, professores podem ministrar uma ou mais disciplinas, entretanto, não podem lecionar para duas turmas em simultâneo; outro exemplo é que, em universidades, a cada semestre um aluno regular tem que cursar um número  $n$  de disciplinas e as turmas devem estar dispostas de modo que o aluno possa participar de todas sem haver choques de horários. A observância dessas restrições objetiva minimizar o número de conflitos, principalmente, antes do início do semestre letivo.

As dificuldades para o processo de geração das grades de horários tornam-se mais notórias quando se trata de instituições como universidades, pois o número de restrições que devem ser atendidas são maiores (ALADAG, 2007). Rocha (2013) afirma que criar uma grade de horário respeitando as devidas restrições é considerado um dos problemas mais difíceis da área de otimização combinatória, e que a busca por uma solução de forma manual não é uma tarefa trivial, pois além de ser um problema considerado difícil, demanda muito tempo e muitas vezes não se obtém um resultado satisfatório.

Os problemas citados até então fazem parte do que se chama de *timetable problem* (TTP), de grande relevância por ter aplicações reais. O TTP é conhecido por ser um problema da área de otimização combinatória multi-restrito, NP-completo (COLORNI, 1992). Conforme Burke e Newall (1999), tal problema tem o intuito de satisfazer certas restrições, por meio da alocação de um número de eventos em um número finito de intervalos de tempo. Os autores, informam também a existência de duas restrições fundamentais, as quais qualquer problema de tabela de horários devem atender, a primeira determina que nenhum indivíduo deve ser obrigado a participar de dois eventos simultaneamente e a segunda especifica que para cada período deve haver recursos suficientes para atender os eventos programados naquele período.

Segundo Schaerf et al. (1996), não existe uma única forma de solucionar este problema, pois depende da instituição envolvida. Como já comentado, instituições de nível superior tendem a ter um maior conjunto de restrições e, quanto maior este conjunto, mais complicado torna-se encontrar uma solução satisfatória. A obtenção de uma solução exata só é válida para uma pequena parcela de instituições, logo não pode ser aplicada em todos os casos reais.

Comumente, a geração das grades de horário são realizadas de forma manual. Na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), o processo de criação não difere, as grades são criadas manualmente pelas coordenações dos distintos cursos da instituição. Tendo em vista que a criação de uma grade de horários é uma tarefa complexa, principalmente, quando realizada de forma manual, este presente trabalho tem como objetivo a produção de uma revisão sistemática da literatura para realizar uma análise das principais abordagens de geração de tabelas de horários escolares, visando ser usada como um guia para ser futuramente automatizados os processos para geração de propostas de horários na UFERSA.

## **1.1 Problematização**

Periodicamente, as instituições de ensino precisam se organizar para elaborar suas grades de horários. Todavia, essa tarefa requer muito esforço, tempo e atenção, pois se trata de algo complexo. De acordo com Eke (2019), na elaboração de uma grade de horários, com o intuito de se obter um resultado satisfatório que atenda todas as restrições, várias checagens são necessárias, principalmente quando essa tarefa é realizada de forma manual. Apesar de haver muito cuidado na sua elaboração, está propensa a erros e uma má elaboração prejudicará o dia a dia dos docentes, discentes e do setor administrativo.

Na Universidade Federal Rural do Semi-Árido a geração das grades é realizada de forma manual, o que torna a produção mais desgastante, dada a quantidade de fatores que devem ser avaliados.



## **1.2 Justificativa**

Segundo Júnior et al. (2015), a busca manual pela solução do TTP pode gerar resultados insatisfatórios ou até mesmo ser considerado uma tarefa intratável, dependendo do número de restrições que devem ser atendidas.

Pode-se perceber que a busca por uma solução manual pode não ser a melhor alternativa quando se está falando de geração de grades de horário com muitas restrições. Diante do exposto, esse trabalho é conduzido para identificar e analisar várias abordagens de geração de grades de horário escolar por meio da elaboração de uma revisão sistemática da literatura, para então ser utilizado como um documento para auxiliar na produção posterior de uma solução computacional para a UFERSA. O estudo sobre os tipos de abordagens será um ponto positivo para a instituição, pois irá contribuir com uma futura automatização da geração dos cronogramas, deslocando trabalho e tempo dos gestores para outras tarefas.

## **2 OBJETIVOS**

Neste capítulo serão apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho.

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é, por meio da realização de uma revisão sistemática da literatura, analisar e expor as principais estratégias e métodos utilizados na elaboração das soluções do problema de TTP.

### **2.2 Objetivo específico**

Os objetivos específicos expostos a seguir foram estabelecidos para alcançar o objetivo geral do trabalho.

- Identificar as tecnologias e métodos mais utilizados para construção de um sistema de automação dos processos na geração de grade de horários;
- Realizar uma análise acerca do interesse sobre o tema.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados alguns dos termos importantes para o entendimento do trabalho.

#### 3.1 Problema da geração de grades de horários

O problema da geração de grade de horários já foi amplamente estudado e várias abordagens foram desenvolvidas na última década para resolver o problema da construção de horários em diversas áreas, em destaque, para escolas e faculdades.

A solução desse problema no âmbito de instituições acadêmicas se prova mais complexa pela quantidade maior de regras e restrições que necessitam ser cumpridas no desenvolvimento das tabelas de horários (ALADAG, 2007).

Dentre as soluções apontadas nessa linha de pesquisa, Jain et al. (2015) propõem uma estrutura de regras e etapas para o desenvolvimento desse algoritmo, usando conceitos de Algoritmos Genéticos (AG) e abordagem heurística. No trabalho, são apresentados três métodos de resolução, e ao fim, o algoritmo proposto junta esses três métodos. Primeiro é apontada uma técnica que usa e filtra regras ativas, sendo regras que ao serem acionadas, uma ação no algoritmo é efetuada, e utiliza Algoritmo Genético para gerar uma solução otimizada, selecionando as melhores regras. A primeira abordagem foi implementada quando havia mais recursos, enquanto a segunda foi usada quando os recursos eram limitados e precisavam ser utilizados adequadamente. Já o terceiro método consiste em um algoritmo baseado na cultura da bactéria *E. coli* para representar um ponto no espaço de busca n-dimensional onde cada ponto pode ser uma solução potencial para o problema de grade de horários. O movimento da bactéria *E. coli* leva à busca de uma solução ótima. A bactéria *E. coli* se move (cai ou corre) em busca de nutrientes. A busca pelo nutriente dá a solução do problema. Por fim, conclui-se que a junção desses três pontos podem ser utilizados de forma que um reforçe a fraqueza dos outros e assim por diante.

Por sua vez, Deeksha et al. (2015) abordam, além dos AG, a Busca Tabu (TS), *Iterated Local Search* (ILS) e *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP). A Busca Tabu é baseada no algoritmo de busca de vizinhança, que tem como objetivo principal não ficar preso em máximos locais. A ILS é focada na exploração iterativa de um espaço de solução e o GRASP consiste na construção da solução e melhoria da solução da qual a melhor

solução encontrada é retornada quando o procedimento de busca é finalizado; entretanto, essa abordagem requer uma grande quantidade de memória, pois as instâncias do problema e a melhor solução encontrada até o momento precisam ser armazenadas. Nas análises feitas, a TS superou todos os outros, mas sua complexidade torna muito difícil usá-la em um problema de geração de horários de curso em um curto período de tempo. Sendo assim, foi decidido usar os melhores aspectos do AG e TS e criar um algoritmo orientado a aplicativos projetados, levando em consideração as necessidades da faculdade alvo do trabalho.

É perceptível em ambos os artigos listados, o uso do conceito de restrições *hard* e *soft*, sendo restrições essenciais e opcionais, o que permite uma maior flexibilidade de opções na geração da solução, uma vez que, as restrições essenciais precisam ser cumpridas, mas não necessariamente a melhor solução é aquela que obedece todas as restrições opcionais.

Bellis et al. (2020) revisitam uma série de artigos publicados em português e fizeram uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) destes, com o objetivo de elencá-los por técnicas usadas para resolver o problema, características do problema resolvido e características dos experimentos realizados. Os resultados principais obtidos mostram que técnicas heurísticas sempre são mais escolhidas para solução deste problema, tais como as já abordadas, AG, ILS, GRASP e TS. Os autores também concluíram que na literatura, a maior parte dos autores mantém o foco do desenvolvimento da solução do problema para sua realidade, em outras palavras, no âmbito da instituição vinculada alvo, o que mostra a dificuldade da resolução deste problema, tal como a complexidade existente na generalização deste, de tal forma a ser igualmente aplicável tanto em grandes instituições de ensino superior, até às menores instituições de nível municipal.

Apesar de Bellis et al. (2020) tratarem de uma RSL sobre o mesmo problema examinado nesta RSL, o foco da sua pesquisa foi os métodos utilizados na resolução do problema de 2010 a 2020 em artigos no idioma português. Por sua vez, o presente trabalho não leva em consideração o idioma de publicação do artigo, utiliza-se de mais bibliotecas virtuais, e retrata também outros aspectos como as linguagens de programação empregadas na solução, nível de ensino da instituição para qual a solução foi pensada, distribuição dos artigos durante os anos, assim, mostrando o estado mais geral do tema de 2017 a 2022.

### 3.2 Métodos de otimização

Segundo Rothlauf (2011), os métodos de otimização buscam localizar as melhores soluções, com tempo computacional satisfatório e menos uso de memória do computador. Para o autor, existe uma classificação entre dois tipos de métodos de otimização, os métodos exatos, que garantem encontrar a melhor solução, entretanto, a computação necessária para resolver o problema cresce exponencialmente com o tamanho do problema (problema NP-difícil), e os métodos heurísticos/metaheurísticos, nos quais não há garantia de encontrar a melhor solução; no entanto, há uma compensação entre a qualidade da solução e o esforço computacional, pois a qualidade da solução aumenta com o aumento do esforço.

Nos métodos exatos, tem-se a intenção de encontrar, através de uma região de busca, uma solução ótima dentro dessa região, analisando cada um dos seus elementos (CHAVES, 2003). A exemplo dos métodos exatos tem-se o *Branch and Bound* e Programação Linear (PL).

Os métodos heurísticos, são algoritmos de cunho exploratório que buscam resolver problemas sem tratar conhecimentos específicos, assim, não precisam de fórmulas para buscar a solução (por exemplo, para resolver uma equação de segundo grau, um método heurístico encontraria uma solução sem o conhecimento da fórmula de Bhaskara), ou seja, não buscam encontrar uma solução exata, tendo como partida uma certa solução viável (BUENO, 2009). Eles se baseiam em sucessivas aproximações até um ponto ótimo (BUENO, 2009). Consequentemente, esses métodos encontram a melhor solução possível para um problema, em vez de uma solução perfeita e determinística (BUENO, 2009). Como exemplos de algumas técnicas heurísticas temos: *Firefly Algorithm* (FA), Algoritmos Genéticos (AG), *Large Neighborhood Search* (LNS), *Cat Swarm Optimization* (CSO), *Iterated Local Search* (ILS), etc.

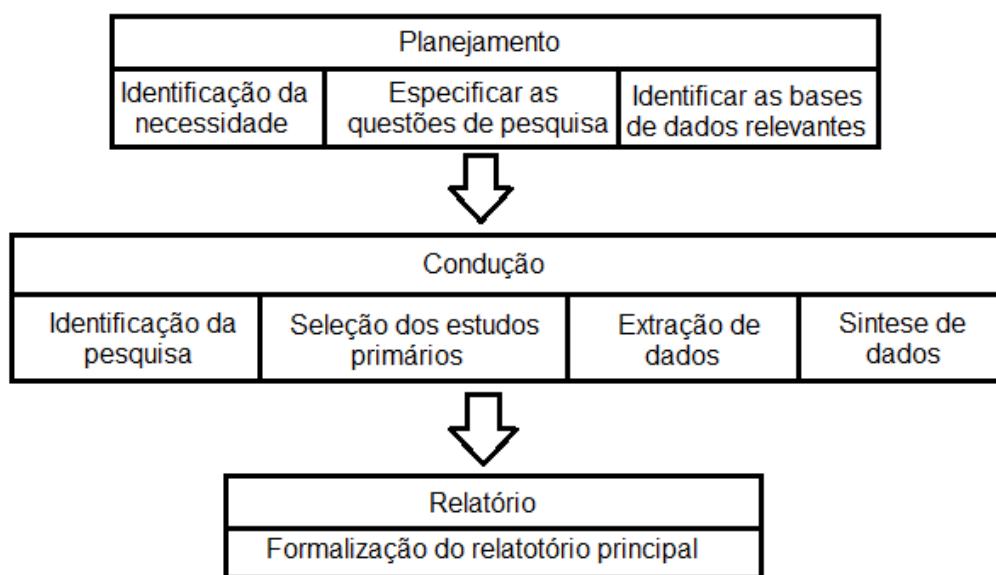
Além dos métodos citados até então, existem várias outras técnicas para solucionar problemas de otimização, dentre elas, tem-se os métodos baseados em grafos, mais especificamente a parte de coloração de grafos, pois é uma forma intuitiva de representar tais problemas (NAVARRO & COELHO, 2016). Segundo Cassiano (2014), os algoritmos baseados em grafos buscam representar conjuntos de dados em um grafo, onde cada vértice representa um elemento do conjunto de dados e a existência de uma aresta conectando dois vértices é baseada na proximidade entre os dois conjuntos de dados (CASSIANO, 2014).

### 3.3 Revisão sistemática da literatura

Uma revisão sistemática da literatura visa por meio do uso de uma metodologia confiável, rigorosa e bem definida, determinar questões para então realizar a seleção, avaliação e interpretação de estudos relevantes, almejando verificar suas contribuições e encontrar lacunas na pesquisa atual (CHAMPIRI et al., 2015).

Para a condução de uma RSL é comumente usada a abordagem proposta por Kitchenham e Charters (2007). Nesta metodologia, a condução da revisão sistemática se divide em três fases principais: planejamento da revisão, condução da revisão e relatar a revisão. Na Figura 1 pode ser visto detalhes de cada uma dessas etapas, conforme apresentado por Champiri et al. (2015).

**Figura 1:** Etapas e atividades de RSL.



Fonte: Champiri et al. (2015)

A fase de planejamento tem o intuito de realizar a identificação do objetivo e necessidade da pesquisa, planejamento do protocolo (responsável por garantir a futura reprodutibilidade do trabalho), especificação das questões de pesquisa, definição dos critérios de inclusão e exclusão e dos critérios de qualidade. A identificação e seleção dos estudos primários, avaliação dos estudos com base nos critérios de seleção e de qualidade, extração dos dados e síntese são realizados na fase de condução. A última etapa, relatar, é onde é especificado o relatório, formatado e avaliado a RSL.

### 3.4 Parsifal

O Parsifal<sup>1</sup> é uma ferramenta *online* para automatizar revisões sistemáticas da literatura, permitindo que pesquisadores possam compartilhar todas as etapas da condução de uma revisão sistemática.

A ferramenta permite importar os trabalhos no formato bibtex, formato comum quando se exporta o resultado de uma pesquisa em uma base de dados a escolha dos pesquisados. As etapas são baseadas nas etapas propostas por Kitchenham (2007), incluindo a definição dos objetivos da revisão, critérios de inclusão e exclusão, questões de pesquisa, definição das bases de dados, dentre outros aspectos.

---

<sup>1</sup> <https://parsif.al/>

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrita a metodologia utilizada na condução deste trabalho. O método adotado para conduzir este trabalho é uma revisão sistemática da literatura. As diretrizes de uma RSL propostas por Kitchenham (2004) foram consideradas para conduzir esta pesquisa. Para atingir os objetivos, a RSL seguiu três fases principais: planejar, conduzir e relatar a revisão, conforme disposto em Champiri et al. (2015).

### 4.1 Planejamento

No tocante ao planejamento, os seus principais elementos são descritos a seguir:

#### 4.1.1 Questões de pesquisa

Como parte do planejamento, faz-se necessário definir as questões de pesquisa que a revisão pretende responder. A questão de pesquisa definida para aplicação foi:

Q-1 Quais as abordagens são utilizadas para geração de tabelas de horários?

A questão Q-1 tem o objetivo de identificar as técnicas empregadas para a solução de problemas relacionados à definição de cronogramas escolares, com a apuração das respostas, almeja-se constatar o porquê de tais escolhas.

#### 4.1.2 Seleção de fontes e *string* de busca

Após definição da questão de pesquisa, por meio de sua análise, foram definidos os termos utilizados para determinar os trabalhos a serem incluídos nesta revisão. Foi extraída a população, a intervenção e a saída e para cada item foram determinados sinônimos e palavras-chave. A tabela abaixo sintetiza os termos usados.



**Tabela 1:** Definição da população, intervenção e saída.

Características	Valor	Sinônimo
População	<i>School</i>	<i>College, Institution</i>
Intervenção	<i>Approach</i>	<i>Technique, Tool</i>
Saída	<i>Timetable</i>	<i>Schedule</i>

Fonte: Autoria Própria (2022).

Com base nos termos de pesquisa, criou-se uma *string* de busca, a qual foi utilizada em três motores de busca. Foram escolhidos as bibliotecas digitais IEEE Explore, ACM Digital Library e ScienceDirect. Esses motores foram escolhidos porque são internacionalmente aceitos para trabalhos científicos da área. Também foi realizada uma etapa de *backward snowballing*, etapa que consiste na análise das referências dos trabalhos, para identificar trabalhos relevantes para responder à questão de pesquisa.

A string de pesquisa final foi a seguinte:

**String de pesquisa final:** ("school" OR "college" OR "institution") AND ("approach" OR "technique" OR "tool") AND ("timetable" OR "schedule"). Ela foi modificada conforme as regras de pesquisa oferecidas pelas bases de dados.

#### 4.1.3 Critérios de inclusão e exclusão

A seleção de estudos primários é regida por critérios de inclusão (I) e exclusão (E), pois por meio deles, faz-se uma filtragem de quais trabalhos estão alinhados com o tema tratado. Os critérios utilizados nesta RSL, foram:

- I - O estudo trata de geração de tabelas de horários para instituições educacionais;
- E1 - Foge do escopo da pesquisa;
- E2 - Estudos duplicados;
- E3 - Estudos secundários ou terciários;
- E4 - Artigos que tenham sido publicados antes de 2017.

O TTP normalmente surge em uma ampla variedade de domínios, logo, o critério de exclusão E1, é utilizado quando se identifica, nos trabalhos pré-selecionados, estudos que não tratam de problemas de horários educacionais, que seriam horários universitários e escolares.

#### 4.1.4 Critérios de qualidade

Além dos critérios gerais de exclusão e de inclusão é geralmente considerado importante avaliar a qualidade dos estudos primários, pois é uma forma de ponderar a relevância dos estudos individualmente (KITCHENHAM, 2004). Os seguintes critérios foram estabelecidos:

C-1 O objetivo da pesquisa está claramente descrito?

C-2 Há uma descrição clara das conclusões?

C-3 Os autores descrevem as limitações do estudo?

C-4 O estudo realizou um experimento bem descrito para avaliar a proposta?

Foi definido pontuações de avaliação de qualidade, onde SIM corresponde a 1 ponto, PARCIALMENTE corresponde a 0,5 e NÃO corresponde a 0.

#### 4.1.5 Formulário de extração de dados

Nesta etapa são definidos quais dados serão extraídos de cada artigo, buscando coletar todas as informações necessárias para uma abordagem concreta do tema. Os dados que foram extraídos são:

- Autores
- Resumo do Trabalho
- País
- Tipo de abordagem (aprendizagem de máquina, algoritmo específico, rede neural, etc.)
- Restrições consideradas para geração das tabelas
- Tipo de plataforma (web, mobile ou desktop)
- Linguagem de programação utilizada
- Ano da publicação
- Nível de ensino da instituição que recebeu o sistema (ensino médio, graduação ou pós-graduação)
- Tipo de instituição que desenvolveu a pesquisa (pública ou privada)

## 4.2 Condução

Nesta seção é descrita a continuidade da revisão sistemática pela execução do protocolo criado na fase anterior. Uma vez determinada a *string* de pesquisa, ela foi dimensionada para identificar, nos resumos dos artigos das bases de dados, referências ao problema de alocação de horários em instituições.

Todo o processo de produção desta RSL foi auxiliado pela ferramenta Parsifal, sendo baseada no Guia de Kitchenham e Charters (2007). Para cada uma das bases de dados foi aplicado a *string* de busca e importado um arquivo “.bibtex”, com os respectivos resultados para a ferramenta Parsifal.

Uma vez que os estudos primários potencialmente foram obtidos, deu-se início a avaliação e seleção quanto a sua relevância e deu-se seguimento a etapa de filtragem dos artigos, que se iniciou pela remoção dos trabalhos duplicados, aplicação dos critérios de inclusão e exclusão (sendo realizada pela leitura dos títulos e quando necessário dos resumos), a aplicação dos critérios de qualidade e por fim, a extração dos dados definidos na fase de planejamento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos após a execução do protocolo e respondidos os principais achados da revisão. A aplicação da *string* de busca nas bibliotecas digitais foi realizada dia 29 de agosto de 2022, retornando um total de 1.164 artigos. Desses artigos, com o auxílio do *software* Parsifal, foi identificado e removido os artigos duplicados, 92 trabalhos. A etapa de filtragem dos trabalhos selecionados seguiu com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, sendo os trabalhos analisados em relação ao conteúdo contido em seu título e resumo. Após essa avaliação, restaram um total de 17 trabalhos aceitos. Na Tabela 2 pode ser visto o quantitativo de trabalhos organizados por base de pesquisa, antes e depois da aplicação dos filtros.

**Tabela 2:** Quantitativo de trabalhos selecionados por base.

Bases de Dados	Artigos Pré-Selecionados	Artigos Aceitos
ACM Digital	161	1
IEEE Explore	236	9
ScienceDirect	734	6
Artigos Retirados das Referências	33	1
Total	1164	17

Fonte: Autoria própria (2022).

Após todo processo de filtragem, os artigos aceitos passaram pela avaliação dos critérios de qualidade. A Tabela 3 a seguir destaca os trabalhos selecionados, informando seu título e o *score* qualitativo correspondente.

**Tabela 3:** Índice de qualidade de cada artigo aceito.

Título	Score
A Case Study of Model-Driven Engineering for Automated Timetabling	4,0
A column generation approach to high school timetabling modeled as a multicommodity flow problem	4,0
A pragmatic algorithm approach to develop course timetable web application based on cloud technology	2,5

A University Administration System to Automatically Assign Courses to Teachers and Support the Design of Timetables Through Mathematical Modeling and Restrictions Analysis	2,5
An Integrated Gapso Approach for Solving Problem of an Examination Timetabling System	4,0
Development of an Efficient Timetable System using AngularJS and Bootstrap 3	2,5
Discrete Firefly Algorithm for an Examination Timetabling	4,0
Effective local search algorithms for high school timetabling problems	4,0
Electronic Lecture Time-Table Scheduler Using Genetic Algorithm	3,5
IScheduler: Intelligent Scheduling System for Academic Institutions	1,0
MaxSAT-based large neighborhood search for high school timetabling	3,5
Parallel Genetic Algorithm for High School Timetabling	4,0
Pattern-based models and a cooperative parallel metaheuristic for high school timetabling problems	3,0
REDOSPLAT: A readable domain-specific language for timetabling requirements definition	3,5
Solving Course Timetabling Problem Based on the Edge Coloring Methodology by Using Jedite	3,5
Solving the high school timetabling problem using a hybrid cat swarm optimization based algorithm	4,0
Solving the high school timetabling problem using a hybrid cat swarm optimization based algorithm	2,5

---

Fonte: Autoria própria (2022)

## 5.1 Principais resultados

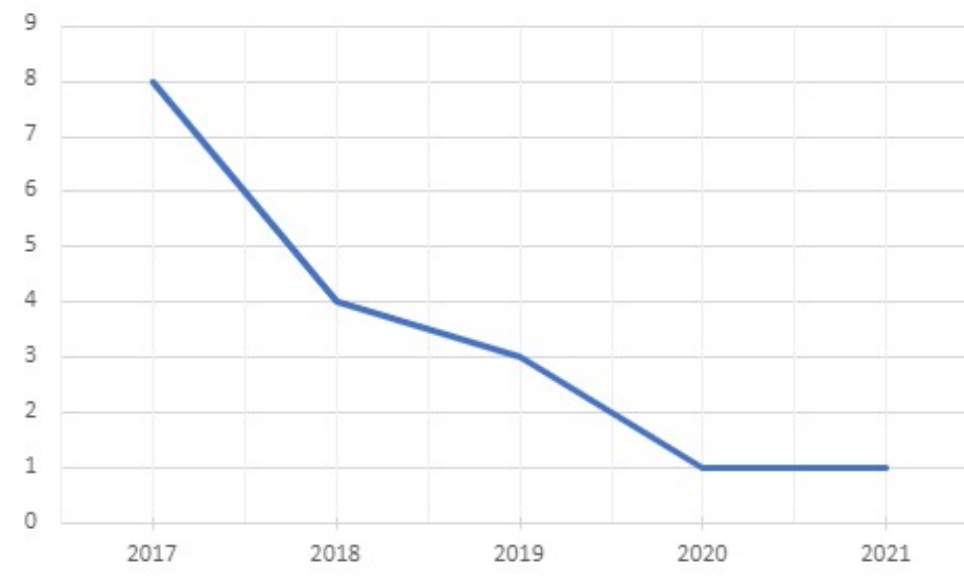
Nesta seção são apresentados os principais achados da revisão sistemática.

No Gráfico 1 é expresso a quantidade de artigos publicados sobre o tema em cada ano, no período de 2017 a 2021. Nele pode ser vista uma tendência que expressa um menor interesse por esse tema de pesquisa nos últimos anos.

Segundo Dorneles et al. (2017), a pesquisa sobre o problema de alocação de horários escolares surgiu pela primeira vez na literatura científica na década de 60 e desde então, até o ano de 2017, vinha crescendo o interesse pelo tema. Todavia, constata-se pelo gráfico que as

pesquisas na área perderam força. Alguns possíveis motivos para este fato, são: a existência de vasta quantidade de métodos já explorados para solução do problema; e a impossibilidade de criar uma solução genérica, pois cada instituição tem suas restrições singulares.

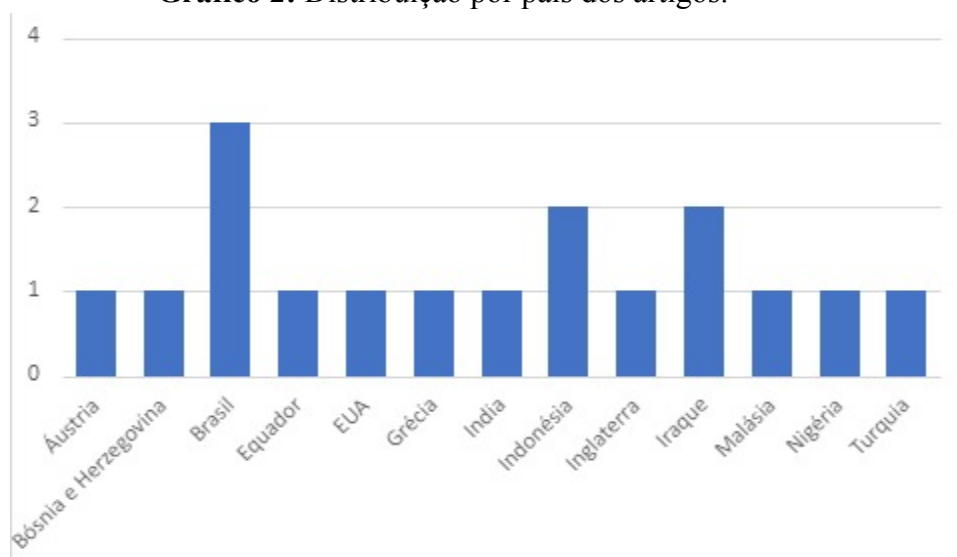
**Gráfico 1 : Distribuição anual dos artigos**



Fonte: Autoria própria (2022).

Por sua vez, no Gráfico 2 abaixo é ilustrada a distribuição do número de artigos originados em cada país, nos últimos 5 anos. Observa-se que o Brasil foi o país que mais produziu sobre o tema, com 3 artigos, porém a pesquisa acerca do tema foi bem distribuída ao longo do território mundial.

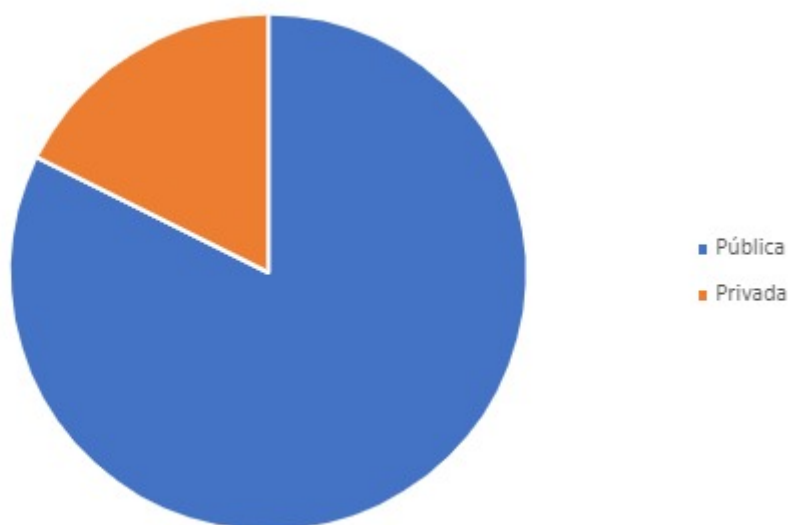
**Gráfico 2: Distribuição por país dos artigos.**



Fonte: Autoria própria (2022).

No Gráfico 3 é indicada a proporção entre instituições públicas e privadas, no desenvolvimento do tema. Pode-se perceber que há um maior interesse na realização da pesquisa por parte de instituições públicas, responsáveis por mais de 80% dos artigos publicados.

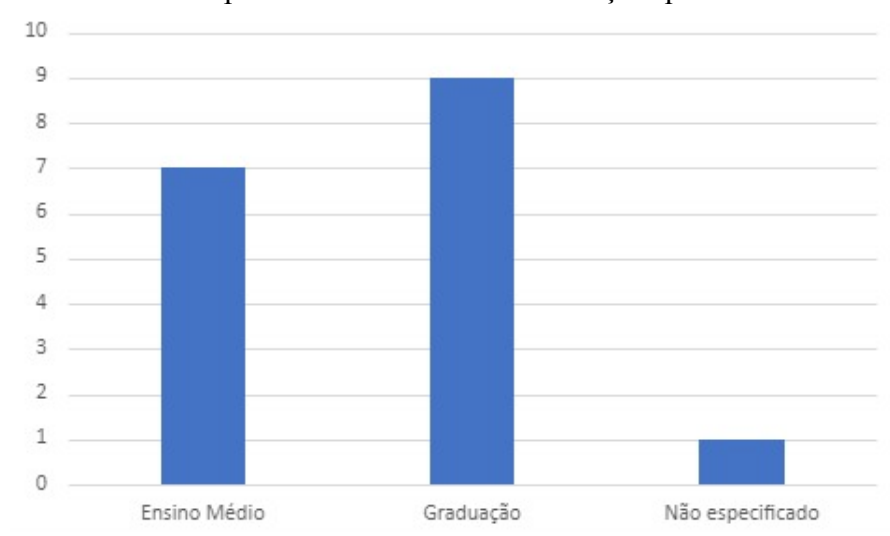
**Gráfico 3:** Proporção sobre o tipo de instituição que desenvolveu a pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2022).

Já no Gráfico 4 é apresentada a distribuição numérica dos artigos, segundo o nível de ensino da instituição de destino do sistema, ou seja, quantos trabalhos foram desenvolvidos com foco no ensino médio ou superior. Um dos artigos não apresentou tal informação. A maioria dos trabalhos foi desenvolvido focado em instituições de nível superior, representando em torno de 53%.

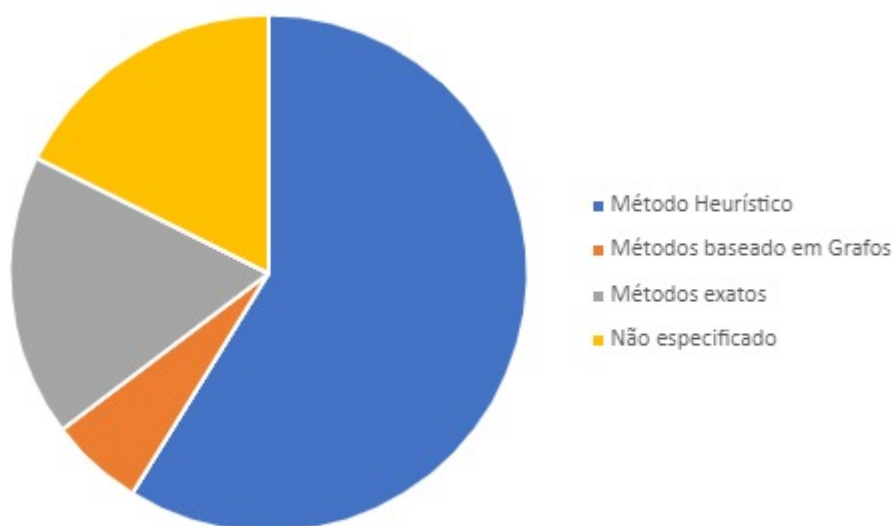
**Gráfico 4:** Divisão por nível de ensino da instituição que recebeu o sistema.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os métodos utilizados para solucionar o problema em questão, podem ser classificados em heurísticos, grafos e exatos. A proporção entre os métodos empregados nos artigos é apresentada no Gráfico 5 abaixo. A fatia denominada “Não especificada”, refere-se a ausência de indicação do método no trabalho.

**Gráfico 5:** Proporção da distribuição de métodos empregados.



Fonte: Autoria própria (2022).

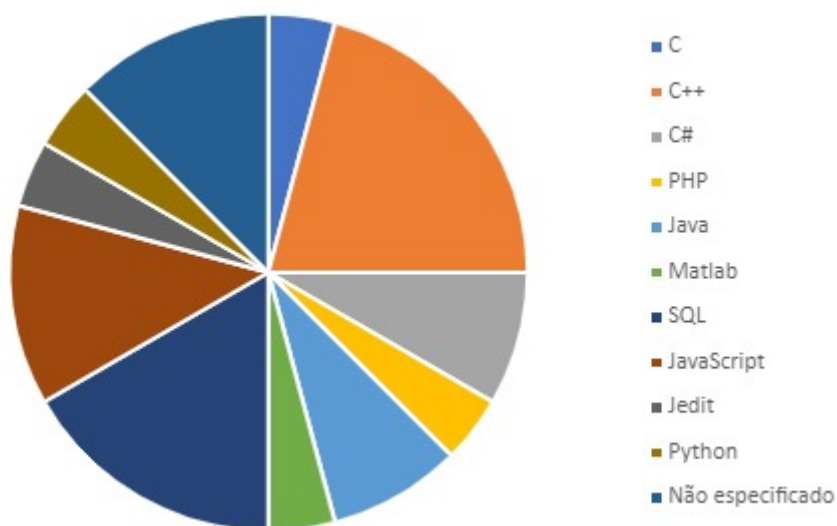
O método baseado em grafos representa aproximadamente 6%; já os métodos exatos representam aproximadamente 18%, enquanto 59% corresponde a métodos heurísticos. A



escolha majoritária pelos métodos heurísticos se dá pelo fato do problema de alocação de horários ser NP-Difícil. Desta forma, os métodos exatos, tem um grande custo de tempo, em contrapartida, os métodos heurísticos tendem a encontrar soluções em menos tempo, porém, não garantem que esta seja uma solução ótima.

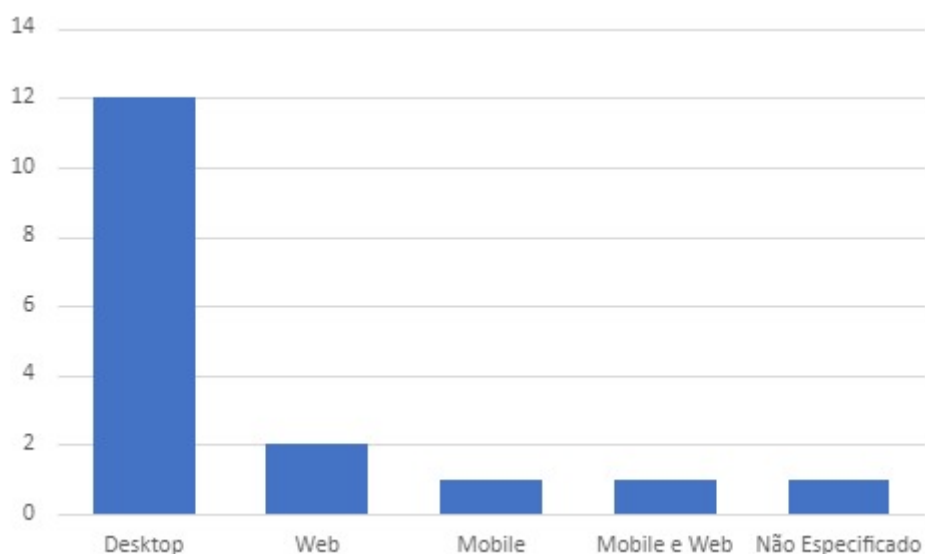
A proporção entre as tecnologias empregadas no desenvolvimento dos sistemas de alocação de horários são ilustradas no Gráfico 6. Considerando que em diversos artigos houve o emprego de mais de uma linguagem, para refletir tal cenário, considerou-se todas as linguagens utilizadas. As linguagens de programação C++, JavaScript e SQL foram as mais empregadas.

**Gráfico 6:** Linguagens de programação empregadas.



Fonte: Autoria própria (2022).

No Gráfico 7 abaixo é especificado o total de sistemas por plataformas (*Desktop*, *Mobile* ou *Web*). Observa-se uma preferência por sistemas para *Desktop*, sendo coerente com a linguagem de programação mais utilizada (C++).

**Gráfico 7:** Tipos de plataformas empregadas nos artigos.

Fonte: Autoria própria (2022).

## 5.2 Trabalhos selecionados

Nesta seção, apresentam-se os trabalhos resultantes da revisão sistemática. Dentre eles, Eke et al. (2019), começam o trabalho discutindo a necessidade que universidades têm de automatizar a geração de grades de horário e como essa automatização é um problema complexo a depender do número de restrições a serem consideradas. Em seu trabalho, consideraram-se vários tipos de abordagens, como métodos baseados em restrições e métodos meta-heurísticos, que pode ser dividido em métodos de busca local, incluindo recozimento simulado, Busca Tabu e métodos de busca baseados em população, como algoritmos genéticos, otimização de enxame de partículas e colônias artificiais de abelhas. Os autores concluíram que todos tinham suas particularidades, porém nenhum resolvia o problema do horário universitário satisfatoriamente sem a necessidade de uma manipulação manual. O algoritmo que escolheram foi um algoritmo baseado na combinação de passagem de mensagem e heurística, com o qual conseguiriam gerar com sucesso horários para a Universidade de Aston, sem qualquer interação humana, em tempo razoável. Para chegarem em uma solução automatizada da geração de horários, concentraram-se na modelagem do problema, inicialmente, a qual foi realizada com auxílio da ferramenta EMF, que usa abordagem MDE. Outro ponto que os autores levaram em consideração no desenvolvimento do sistema foi a questão de que seria mais viável a universidade adotar o sistema desenvolvido, se ele se integrar com as ferramentas de grade de horários já utilizadas pela instituição. Então investiram na integração com sistemas de terceiros. Esse ponto de se

integrar com outros sistemas foi bastante elogiado pelos administradores. Os autores afirmam que a recepção do horário automatizado foi bastante positiva, destacaram que necessita de algumas melhorias e abordaram alguns planos futuros para o seu aprimoramento.

Por outro lado, Sutar et al. (2017) propuseram uma solução baseada em Algoritmos Genéticos. O algoritmo foi criado para auxiliar na geração de horários para o ensino médio. O programa consiste em um algoritmo genético paralelo com operadores customizados para resolver problemas hdt4, hdt5 e hdt6 em curto tempo, implementado em C++. O algoritmo deve satisfazer às seguintes restrições rígidas: uma sala deve ser alocada apenas uma vez a um horário; uma aula deve ser agendada apenas uma vez em um período; um professor deve ser alocado apenas uma vez em um período; todas as tuplas de sala de aula-professor-local devem ser agendadas o número esperado de vezes. Foram realizadas comparações com outros métodos utilizados e o resultado foi satisfatório, pois produz conclusões válidas em um menor tempo de execução. Os métodos que foram utilizados para realização das comparações foram AG com seleção hiper-heurística perturbativa (SPHH), NNT2 e NN-TT3-Abordagens de redes neurais, SA1 e SA2-*Simulated annealing*, TS-*Tabu search* e GS-*Greedy search*. O AG implementado, em comparação, obteve resultados satisfatórios, superando o resultado de muitos métodos e conseguindo atender todas as restrições impostas (hdt4), porém não consegue resolver problemas maiores, mesmo após execuções mais longas.

Em contrapartida, Al Perumal et al. (2018), em seu trabalho, não especificaram qual abordagem foi utilizada. Destacaram as dificuldades que os administradores da instituição USIM passam ao tentar criar os horários dos cursos. Tendo isso em vista isso, desenvolveram um aplicativo de programação de horário web, usando JavaScript (JSF) AngularJS, Bootstrap, jQuery, MySQL, Full Calendar, PHP e PHP Spreadsheet para o desenvolvimento das aplicações *front-end* e *back-end*. O sistema desenvolvido considera algumas restrições, restrições rígidas e flexíveis. As seguintes restrições rígidas, devem ser satisfeitas para alcançar resultados satisfatórios, são elas: para os alunos, as aulas não devem ter conflitos de horário; para o gerente de recursos, nenhuma sala pode ser usada para duas aulas diferentes no mesmo horário; e para o professor, não podem ter duas aulas no mesmo horário. As restrições flexíveis, possuem prioridade mais baixa a serem satisfeitas, são essas: para o aluno, evitar ter muito tempo ocioso entre o intervalo de cada aula; e para o professor, não podem ensinar mais de 8 horas por semana. O sistema desenvolvido é dividido em três funções de usuários, administradores, professores e alunos. O administrador tem o direito de criar e gerenciar horários e recursos. No entanto, o professor e os alunos só podem visualizar e imprimir os

detalhes de seus horários. O sistema conta também com medidas de segurança, via HTTP Secure (HTTPS). Segundo os autores, a aplicação cumpriu com sucesso restrições difíceis para alcançar uma grade de horários viável e eficiente para alunos e professores, além de poder ser modificada de acordo com as necessidades do usuário e oferecer uma interface de usuário atraente.

Em compensação, Ferdiana et al. (2017), abordam o desenvolvimento de um sistema Web para o problema de agendamento de cursos universitários. Eles destacam os diferenciais que seu trabalho tem em relação a pesquisas anteriores, retratam que na pesquisa deles é discutida a implementação de um algoritmo na linguagem de programação web, ao contrário de discutir melhorias de algoritmos e retrata também, que o sistema não será um modelo de implementação local, mas sim, terá compatibilidade para implantação em ambiente de nuvem. A tecnologia em nuvem é adicionada, por questões de aprimoramento do trabalho, em termos de poder computacional e escalabilidade. O provedor de nuvem escolhido, foi o Microsoft Azure, as tecnologias web escolhidas foram ASP.NET MVC, HTML 5, JavaScript e CSS 3 e o algoritmo designado foi o algoritmo pragmático. Todas as escolhas foram baseadas em considerações e pontuações realizadas pelos autores. A pesquisa em questão teve três etapas principais, que foram, consideração do usuário e da tecnologia, consideração do algoritmo e proposta de solução de software. As seguintes restrições foram abordadas: o curso no semestre similar não será executado no mesmo horário, algum professor não pode ministrar as aulas da manhã ou da tarde, algum professor não pode estar em prédios diferentes entre as aulas, um professor não pode estar nas diferentes aulas na mesma hora, ou alguma sala não pode ser ocupada em vários dias. O sistema desenvolvido foi considerado com um bom desempenho, apesar de não ter havido comparação com outros algoritmos, pois gera horários em um tempo curto (15,56 segundos) e com resultado validado pela equipe acadêmica, garantindo que a grade de horários gerada é adequada.

Alavo et al. (2018), de outro modo, abordam em seu trabalho, o desenvolvimento de um sistema de agendamento inteligente web, chamado iScheduler, segundo os autores, sua inspiração surgiu da necessidade de possibilitar que administradores universitários possam criar grade de horários de cursos informados por dados, possibilitando encontrar horários ideais para professores e alunos. Eles almejam com a implementação do sistema, poder responder a duas questões: se um sistema inteligente pode ajudar os administradores a criarem um horário de aula ideal e se um sistema inteligente pode ajudar os alunos a construir um horário de aula ideal.

Por outro lado, Mishkhal et al. (2019) enfatizam a necessidade do uso de métodos tecnológico para ajudar a solucionar o problema de programação de horários (CTP) e discutem sobre um método em específico, o método de coloração de bordas, o qual é um tópico na área da teoria dos grafos. Segundo os autores, o CTP pode ser representado por um grafo onde os vértices denotam eventos (professores/alunos) e cursos, enquanto as arestas indicam intervalos de tempo entre esses eventos, podendo ser modelada como um grafo bipartido não direcionado. O algoritmo foi implementado em Jedit, seguindo algumas restrições, que são: cada docente não pode ministrar mais de uma disciplina ao mesmo tempo, ou conectar disciplinas com os alunos onde qualquer aluno não pode matricular mais de uma turma simultaneamente. Os autores discutem ao final do artigo as vantagens e desvantagens/incertezas em relação ao método utilizado para solucionar o problema em questão. Destacam que essa metodologia fornece resultados eficientes, porém é um desafio implementar o algoritmo de coloração de bordas em um grafo não bipartido automático que qualquer universidade possa inserir o nome de um professor e um horário específico para ser mais profissional. Salientam também, trabalhos futuros, que seria usar dados reais para testar o desempenho da solução proposta.

Por outro lado, Ghaisani e Suyanto (2019), abordam em seu trabalho um método meta-heurístico, a inteligência de enxame (SI), uma técnica conhecida por sua rapidez e precisão. Comentam sobre esse método, pois o mesmo é comumente usado para resolver problemas de agendamento. Do método SI, utilizam o algoritmo de vaga-lume discreto (DFA), porque, segundo os autores, oferece melhor desempenho que a otimização de colônias de formigas, algoritmo genético e recozimento simulado. Uma discretização de uma FA pode variar de caso para caso; tendo isso em vista, os autores desenvolveram um esquema de discretização específico. O conjunto de dados utilizado são retirados de uma grade de horários da universidade de Telkom. Nesta pesquisa, um vaga-lume representa um horário candidato, onde cada linha é uma sessão de um aluno com três atributos: ID do aluno, ID do examinador e ID do intervalo de tempo. Um ID de intervalo de tempo tem três atributos: Sala, Data e Hora. O algoritmo precisava satisfazer algumas restrições (6 rígidas e 2 suaves), que são, respectivamente: cada aluno é agendado para apenas um exame; cada aluno tem uma programação única: data, hora e local; o supervisor não pode ser um examinador em simultâneo; a agenda de um professor como examinador não deve entrar em conflito com a agenda de aulas; O horário de um professor como orientador não deve entrar em conflito com o horário de aulas; de uma só vez, o docente é alocado a um calendário de exames, seja como

orientador ou examinador; para cada exame; a experiência do examinador deve ser a mesma do supervisor; uma carga de cada professor não é superior a 6 exames em uma semana. Segundo os autores, a vantagem da discretização proposta é que ela é capaz de reduzir violações tanto para restrições rígidas quanto suaves e pode ser desenvolvida para ser aplicada a casos de agendamento semelhantes. A desvantagem do esquema é que quanto maior a ocupação de dados, pior a solução produzida em cada geração.

De outra maneira, Jahwar et al. (2021) começam o trabalho enfatizando que a programação de horários é um problema de otimização difícil de tempo polinomial finito não determinístico, que sofre de pluralismo, pois diferentes instituições têm diferentes requisitos e restrições. Para solucionar o problema em questão, utilizaram a abordagem GAPSO, sendo um método aprimorado que combina as características dos métodos GA e PSO para superar as fraquezas desses dois métodos. A abordagem GAPSO é executada em duas fases, na primeira fase, envolve alocar a população ao acaso através do uso sucessivo de seleção de torneio de operações AG, operador de cruzamento e mutação. Por outro lado, a segunda fase envolve o uso da técnica PSO sobre AG para obter resultados ideais. O algoritmo foi desenvolvido usando MATLAB e testado usando conjuntos de dados de referência de Toronto. O experimento foi realizado objetivando medir quantitativamente parâmetros que podem ser utilizados na obtenção de melhores resultados, tendo em vista que o algoritmo pode ser muito influenciado pelos parâmetros definidos e também pelo design dos operadores. Por fim, foi realizada uma comparação com alguns métodos do estado da arte e concluiu-se que a estratégia usada, pode ajudar departamentos de universidades e faculdades a organizar exames de avaliação acadêmica sem problemas, pois segundo os autores, o calendário de exames GAPSO é eficaz, pois encontra soluções ótimas. Os autores destacam também, que a abordagem proposta pode ser utilizada para aprofundar outras questões relacionadas à vigilância e ao cronograma do curso.

Por outro lado, Soyemi et al. (2017) destacam em seu trabalho, algumas das restrições consideradas; das restrições rígidas temos: os alunos só podem ser alocados em uma classe de cada vez; professores só podem ser alocados em uma classe de cada vez; locais só podem ser alocados para uma classe de cada vez; cursos com mesmo título de curso, código, conteúdo e mesmos docentes devem ser mesclados e fixados na sala com a mesma capacidade que o tamanho da turma; e práticas para cursos relacionados a ICT devem ser alocadas entre 8h e 14h. As restrições suaves são: os professores não devem ficar por mais de 4 horas seguidas; os alunos devem ter alguns períodos livres entre as aulas; certos cursos devem ser tomados em

determinado período; e certos períodos da semana são livres para todos os professores e alunos. O modelo proposto foi construído utilizando o algoritmo genético, com a linguagem de programação Java e o Microsoft SQL Server. Houve o teste e validação do aplicativo, quanto à eficiência e fluxo de operação. Ao final, os autores concluíram que a implantação do ELTS superou o processo manual, garantindo uma ótima alocação de recursos e reduzindo o risco de omissão de cursos e confrontos de salas e palestrantes.

De outra forma, Calle-López et al. (2018) discutem que o sistema de recomendação de horários, desenvolvido, irá além de localizar o melhor professor possível em um horário de aula específico de acordo com suas variáveis demográficas e institucionais, permite identificar espaços de tempo para outras ações, como a formação de docentes que desenvolvam processos educacionais inovadores. As seguintes restrições são levadas em consideração no desenvolvimento do sistema: um período de aulas não pode ser repetido em um único dia para um curso, de modo que vários cursos de um mesmo ciclo não serão atribuídos ao mesmo período de aulas; um professor não pode ministrar o mesmo curso no mesmo dia; um professor não pode ministrar dois cursos em simultâneo em um determinado dia (evitando colisões); e certifique-se de que um curso não exceda o número de horas permitidas em uma semana de aulas. Eles utilizaram uma abordagem baseada em programação linear inteira, para obter a solução ótima e foi usado em conjunto, o método *Branch and Bound*. A abordagem proposta leva em consideração os currículos dos professores, cursos, disponibilidade de tempo, confrontos curriculares, dias e horários, em uma arquitetura baseada em várias camadas e módulos que podem ser facilmente adaptados aos diferentes requisitos e necessidades. Essa arquitetura possui, em sua estrutura, três camadas, que se comunicam. A primeira camada, denominada, Bloco de Construção da Interface é a representação gráfica da aplicação dividida em uma solução web, mobile e uma API REST. Já a segunda camada, a Camada Inteligente tem como intuito realizar as atribuições dos cursos e a geração de horários, gerando pares professor-curso com base no desempenho docente, histórico do curso e perfil docente, que em seguida serão distribuídos durante a geração de horários. Por fim, tem-se a camada responsável por armazenar os dados, a Camada de Dados. Para concluir a viabilidade da proposta foi realizado um experimento em duas etapas: a primeira parte foi migrar os registros para o sistema e depois gerar amostras de horários através do sistema, onde foi concluído que o sistema cumpre com todas as restrições estabelecidas. É importante ressaltar como ponto diferencial deste artigo que o autor leva em consideração em sua

aplicação informações que estruturam perfis, como disponibilidade, conhecimento e experiência dos professores.

Diferentemente, Çolak e Yiğit (2017) destacam que técnicas gerais usadas para solucionar o problema em questão são bastante inadequadas, devido ao tamanho e a complexidade do espaço de pesquisa, o fato de as restrições serem geralmente específicas e o grande número de soluções possíveis. Neste estudo, investigou-se o efeito dos parâmetros na solução do problema de agendamento de aulas, sendo estes, o número adequado de indivíduos, taxas de cruzamento e mutação, de forma a encontrar uma solução aceitável, usando AG. Foram consideradas algumas restrições em que pontos de penalidade são dados a essas restrições e o indivíduo com a pontuação de penalidade mais baixa será determinado como o melhor indivíduo. Este estudo mostra que o problema de agendamento de curso, sendo um problema de otimização difícil, pode ser resolvido usando AG com valores apropriados de cruzamento e mutação. Para que o AG dê melhores resultados, o tamanho da população, valores de cruzamento e mutação devem ser bem ajustados.

O trabalho de Skoullis et al. (2017) é baseado na otimização de enxame de gatos híbridos (CSO), para resolver o problema de horários escolares. O algoritmo proposto é caracterizado como híbrido, pois consiste em duas partes. A primeira, sendo o algoritmo básico baseado em CSO (com variações básicas em oposição ao CSO original) e a segunda parte, sendo um procedimento de refinamento de busca local, aplicado logo após o processo principal, na tentativa de melhorar a qualidade da grade de horários resultante. A aplicação proposta é aplicada a dados reais coletados de várias escolas de ensino médio na Grécia, com o objetivo de investigar se um algoritmo baseado em CSO pode resolver efetivamente o problema de grade de horários para o ensino médio. A proposta nesta contribuição é dupla: introduzir o conceito de aplicação de um algoritmo baseado em CSO fácil de usar e que não esgota o tempo para resolver o problema de grade de horários do ensino médio e verificar se o algoritmo baseado em CSO híbrido consegue alcançar resultados de tempo computacional muito satisfatórios e com pouco tempo de computação comparáveis aos melhores, até agora, relatados para um *benchmark* de grade de horários escolar bem estabelecido. Foi realizada comparação entre abordagens aplicadas às mesmas instâncias/critérios de grade de horários escolar. A comparação foi realizada com 7 algoritmos de computação suave, um Algoritmo Genético (GA), um Algoritmo Evolutivo (EA), um algoritmo de Recozimento Simulado, dois algoritmos de Otimização de Enxame de Partículas Híbridas (PSO), um algoritmo baseado em Enxame de Peixes Artificial e uma Hiper-Heurística Perturbativa de Seleção de Algoritmo



Genético (GASPHH). Os autores concluíram que o algoritmo baseado em CSO híbrido é muito eficiente e que a aplicação de técnicas baseadas em CSO para problemas de programação de tempo é muito promissora. Os resultados demonstrados nos experimentos também sugerem que o algoritmo pode substituir definitivamente outras abordagens de computação suave existentes, uma vez que constrói, na maioria dos casos, horários escolares mais eficientes, só possuindo um ponto em aberto, pois não concluíram que sua aplicação a outros problemas de agendamento é viável.

Para lidar com o problema da programação de horários no ensino médio, Demirović e Musliu (2017) usaram uma combinação do algoritmo de busca local com uma nova busca de vizinhança implementada em maxSAT. Em seus papéis, a busca local terá utilidade na condução da solução inicial (caso não tenha sucesso em encontrar uma boa solução inicial, restrições de eventos divididos são tratadas como restrições rígidas porque o algoritmo de pesquisa local não divide ou mescla subeventos, tornando muito difícil encontrar uma boa solução se a restrição não for satisfeita inicialmente) e então a busca de vizinhança grande (LNS) será usada para aprimorar os resultados. Em sua formulação foram considerados três fatores, horários, recursos e eventos, onde cada evento pode ser dividido em subeventos para permitir mais flexibilidade ao algoritmo, como também restrições que podem ser aplicadas a recursos e eventos. O algoritmo LNS é a principal contribuição deste artigo e consiste em dois componentes principais: operações de destruição e de inserção. O operador de destruição desprograma certos subeventos, a inserção é o oposto: ela atribui tempos aos subeventos previamente não programados e são úteis para avaliar as vizinhanças do vetor com base em recursos ou dias; cada vizinhança do vetor é analisado no máximo 2 vezes. O algoritmo itera até que ocorra um tempo limite (nos experimentos, 1000 s). No geral, pode-se modelar com eficiência 27 de 39 (70%) instâncias selecionadas com maxSAT. O modelo atual não é prático para outras instâncias com atribuições de recursos. Infelizmente, neste caso o número de variáveis e cláusulas é muito grande e os autores não conseguiram uma codificação mais eficiente para essas restrições. Como o algoritmo possui foco em achar uma solução boa em um intervalo limite de tempo, seus resultados mostram-se similares ou superiores a outros algoritmos baseados em maxSAT.

De outra forma, Ribić et al. (2018) decidiram usar uma abordagem diferente na definição dos requisitos de horários e implementaram uma linguagem específica de domínio (DSL), a DSL REDOSPLAT, para resolver problemas de horários utilizando a programação linear inteira (ILP). A REDOSPLAT segue a estrutura da linguagem falada, logo é fácil de

usar e não requer nenhum conhecimento prévio. No decorrer do artigo, os autores apresentam uma visão geral do desenvolvimento REDOSPLAT. A primeira etapa, é a fase de Decisão, que define os principais objetivos (legibilidade, cobrir o maior número possível de casos de requisitos e que não esteja estritamente ligada a um algoritmo). Na Análise de Domínio são definidos os recursos para geração e análise de horários escolares, que são suportados pelo REDOSPLAT. Na terceira fase, Projeto, os autores definiram que a DSL deve ser o *front-end* para o programa escrito em uma linguagem de uso geral que irá gerar e resolver equações e desigualdades usando ILP. Eles realizam a explicação da semântica, sendo dividida em duas partes, a primeira parte explica o processamento dos dados obtidos a partir da entrada no REDOSPLAT; a segunda parte é a explicação do algoritmo de resolução. A fase de Implantação, responde questões de como o DSL é implementado (o padrão de implementação, a estrutura de desenvolvimento usada, etc.). Por fim, na fase de Validação, foram realizadas experiências, por vários anos, usando REDOSPLAT, as quais confirmam que os usuários finais são capazes de formular seus próprios horários, mesmo sem o apoio dos desenvolvedores. Além disso, os pesquisadores indicaram que a REDOSPLAT muitas vezes encontra soluções adequadas para seus problemas de horário. No artigo, os autores descrevem que realizaram algumas comparações, constatando que uma diferença na legibilidade pode ser vista ao comparar o REDOSPLAT com a maioria das outras DSLs de programação de grade de horários, em que algumas delas têm um formato significativamente mais complexo, sendo praticamente inútil para os usuários finais. Os autores concluíram que a DSL desenvolvida cumpriu com o objetivo inicial, pois foi capaz de descrever, validar e resolver problemas de horários nas escolas, além de gerar uma solução legível, de fácil expansão, e ser utilizada independente do algoritmo para resolver o problema em questão.

De outro modo, Dorneles et al. (2017), abordam o Problema de Tabela de Horários de Professores com Requisitos de Compacidade (CTTPCR), sendo uma variante bem conhecida do Problema de Tabela de Horários do Ensino Médio, originado em escolas brasileiras. Para tal, eles propuseram um modelo de fluxo *multicommodity* para o CTTPCR no qual arcos representam transições de períodos de tempo em um grafo de rede particular. No trabalho, os pesquisadores apresentaram uma formulação de programação linear inteira mista para o CTTPCR, a qual denotaram como F1. Logo após aplicaram os princípios de decomposição de Dantzig-Wolfe na formulação compacta F1, para obter uma formulação alternativa, denotado como problema mestre (MP). O MP tinha o objetivo de minimizar o custo dos caminhos selecionados. O MP era inviável quando enfrentava aplicações reais, logo, os pesquisadores

decidiram resolver um relaxamento linear do MP por meio de uma abordagem de geração de colunas, com o objetivo de obter limites inferiores apertados para o problema. No decorrer do artigo, os autores apresentaram uma avaliação experimental dos modelos e métodos propostos, bem como comparações com alguns resultados anteriores do estado da arte para o problema. Em comparação com a geração de colunas de última geração para CTTPCR, os resultados experimentais mostraram que a presente abordagem é capaz de produzir os mesmos limites inferiores, porém com duas vantagens significativas: i) o método é mais simples; ii) e é cinco vezes mais rápido em média. Segundo os autores, seu trabalho possui duas contribuições, a primeira, é que, diferentemente dos modelos tradicionais de grade de horários do ensino médio, eles apresentaram um modelo de fluxo *multicommodity* para o CTTPCR. Além disso, os pesquisadores apresentaram também um algoritmo de geração de colunas para resolver a relaxação linear da decomposição de Dantzig-Wolfe aplicada no modelo de fluxo *multicommodity* para fornecer limites inferiores fortes para o problema rapidamente. Esses novos limites inferiores são importantes para avaliar a qualidade de soluções obtidas com abordagens heurísticas para o CTTPCR, bem como para métodos projetados para o GHSTP.

Para tratar o problema de programação de horários do ensino médio (HSTP), Saviniec e Constantino (2017) propuseram uma abordagem de computação suave baseada em *frameworks* meta heurísticos de Busca Local Iterada (ILS) e Busca de Vizinhança Variável (VNS). Os algoritmos propostos empregam dois operadores de vizinhança que exploram a estrutura do problema para realizar uma busca local efetiva em busca de soluções de boa qualidade. O primeiro é baseado na resolução de Problemas de Atribuição de Custo Mínimo (MCAPs) e o segundo é baseado em componentes conectados de reuniões conflitantes, que são identificados por gráficos de conflito. Para avaliar o desempenho da abordagem de computação suave proposta, os pesquisadores realizaram dois experimentos. No primeiro experimento, eles comparam os algoritmos propostos com outras abordagens; no segundo experimento, estenderam o estudo computacional para um novo conjunto de dados contendo casos maiores. Os resultados experimentais mostraram que os algoritmos projetados forneceram consistentemente soluções ótimas e quase ótimas, enquanto outras abordagens não, demonstrando assim, a eficiência, eficácia e robustez da presente abordagem em comparação com as abordagens da literatura. Segundo os autores, as principais contribuições do artigo são: (1) novos algoritmos baseados em ILS e VNS para problemas de horários do ensino médio; (2) dois novos operadores genéricos de vizinhança que podem ser facilmente

adaptados a problemas semelhantes; (3) a hibridização entre esses operadores de vizinhança melhora enormemente a eficácia dos procedimentos de busca local; (4) os algoritmos propostos encontraram soluções ótimas para todas as instâncias de um conjunto de dados da literatura e tiveram desempenho melhor que o solucionador vencedor do *Third International Timetabling Competition* (ITC2011) em 87,50% das novas instâncias propostas; (5) eles coletaram 34 casos reais de 13 escolas de ensino médio localizadas em diferentes cidades do sul do Brasil e disponibilizaram para os próximos estudos.

Em alternância, Saviniec et al. (2020) abordaram o problema do horário do ensino médio (HSTP). Onde os autores, além de lidar com o conflito de horário e nenhum professor alocado fora de seu horário de trabalho, foi levado em consideração também: aplicar aulas duplas para algumas disciplinas de turmas (duas aulas consecutivas entre um professor e uma turma no mesmo dia), evitar períodos ociosos (um período livre entre períodos ocupados no mesmo dia nos horários dos professores), e priorizando os horários dos professores com um número mínimo de dias úteis. Foi proposto, então, duas novas formulações MIP, uma lidando com número pequenos de variáveis (EF1) e outra com um número maior de variáveis (EF2), além de uma solução paralela cooperativa, usando metaheurísticas. Em seguida, foi proposto uma metaheurística paralela para o HSTP. Sendo chamado os padrões de informação limitada de “*layouts*”. A primeira formulação extensiva, EF1, explora o fato de que a cardinalidade dos conjuntos de *layouts* é muito menor do que a cardinalidade dos padrões tradicionais (informações completas). A segunda formulação, EF2, considera uma abordagem mais tradicional com *layouts* semanais, indicando a carga horária completa de um professor. Por sua vez, a solução metaheurística paralela, se baseia na estrutura baseada em memória de diversificação-intensificação (DIMB). O DIMB conta com uma série de agentes metaheurísticos, que trabalham em paralelo e compartilham informações via *buffers* de soluções. O método também utiliza memórias de intensificação e diversificação para melhorar a eficiência da busca. O procedimento do gestor implementa políticas para orientar a busca e atualizar as memórias de diversificação e intensificação das soluções. Ele funciona enviando soluções (selecionadas de uma das duas memórias) para intensificadores e recebendo soluções deles, através dos dois *buffers* intermediários (os *buffers* de entrada e saída). Os intensificadores exploram as vizinhanças das soluções recebidas, durante um período de tempo pré-especificado. As melhores soluções encontradas durante a pesquisa são enviadas de volta ao gerente. Para testar as três soluções propostas, foram feitos três modelos de teste denominados HSTP-A, HSTP-B, HSTP-C, com dados extraídos de escolas de ensino médio

do estado do Paraná e de Minas Gerais, comparando-os ao resultado de modelos propostos na literatura. No primeiro teste, o EF1 roda mais rápido e obtém limites lineares (21,09%), já o EF2, com as melhorias obtidas, apresentou resultados ainda mais significativos do que os obtidos pelo EF1. No entanto, este último exigiu cerca de três vezes mais tempo computacional. O segundo teste revelou resultados equivalentes ou pior que outros algoritmos propostos, apesar de o EF1 fornecer melhores limites inferiores. Para o terceiro problema, ambas as formulações classificaram o mesmo número de melhores limites inferiores. No entanto, a formulação do EF1-cuts teve um desempenho ligeiramente melhor do que EF2 em termos de qualidade dos limites inferiores obtidos. Como resultado geral, foi provado otimalidade para 25 das 32 instâncias que não são inviáveis.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Periodicamente as instituições de ensino precisam se organizar para elaborar a grade de horários. Todavia, essa tarefa requer muito esforço, tempo e atenção, pois se trata de um problema NP-difícil. A obtenção de um resultado satisfatório, quando feito de forma manual, a depender do número de restrições, é considerada ineficiente. Logo, pode-se perceber uma grande necessidade pela busca da automatização do processo de criação de grade de horários escolares. Entretanto, há uma grande diversidade de formas que o problema de alocação de horários pode ser modelado e uma grande variedade de métodos empregados para resolvê-lo.

Diante do exposto, este trabalho, por meio da elaboração de uma revisão sistemática da literatura, realizou um levantamento sobre os estudos científicos publicados na literatura acerca do Problema de Geração de Horários Escolares a partir do ano de 2017, de modo a entender melhor como ele está sendo tratado e quais estratégias são mais utilizadas, almejando principalmente aumentar o interesse por essa área de pesquisa para auxiliar no desenvolvimento de um futuro *software* para a UFERSA.

Os resultados obtidos foram sintetizados em forma de tabelas e gráficos, tendo como principais resultados uma tendência que expressa um menor interesse por esse tema de pesquisa nos últimos anos, que pode ser devido à existência de vasta quantidade de métodos já explorados para solução do problema ou a impossibilidade de criar uma solução genérica, pois cada instituição tem suas restrições singulares. Outro resultado que merece destaque, é o fato que entre os artigos expostos, há um maior interesse pela utilização de métodos heurísticos na solução do problema, pois, tendo o tempo e a capacidade computacional como fatores limitantes, métodos heurísticos apresentam notório desempenho na resolução do problema de *timetabling* em curtos espaços de tempo.

Sintetizando os resultados dos trabalhos selecionados, observa-se que trouxeram em sua maioria, os métodos heurísticos, em destaque, o ILS, que foi comumente utilizado, porém as abordagens baseadas em GA ou TS também se provaram capazes de prover bons resultados, outros, por sua vez, apesar de concluírem resultados bons ou satisfatório não possuem um embasamento ou referencial teórico suficiente para auxílio na construção do *software*, dessa forma, as abordagens citadas são as melhores quando a intenção é preferir métodos mais estudados, difundidos, práticos, e que garantirão maiores chances de chegar em um resultado satisfatório. A escolha da linguagem de programação a ser usada no desenvolvimento é pessoal, porém é recomendável, ao menos, a utilização de uma linguagem

de programação que já possua certo tempo de mercado e que possua bibliotecas já desenvolvidas para o método escolhido, assim, Java, C++, C#, Python são opções. No mais, a base para as etapas de criação do *software* ou ideias de implementação podem ser retiradas das referências deste artigo.

Para trabalhos futuros, é proposto a utilização das referências aqui expostas e as recomendações de estratégias de desenvolvimento demonstradas através dos resultados dos gráficos de abordagens e linguagens empregadas para servir como guia na elaboração de um *software* que propõe resolver o Problema de Geração de Horários Escolares para a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

## REFERÊNCIAS

- ALADAG, Çagdas Hakan & HOCAOGLU, Gulsum **A tabu search algorithm to solve course timetabling problem.** Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 36 (1), 2007, p. 53-64.
- AL PERUMAL, Sundresan et al. **Development of an Efficient Timetable System using AngularJS and Bootstrap 3.** 8th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2018. p. 70-75.
- ALAVO, Raymond et al. **iScheduler: intelligent scheduling system for academic institutions.** Proceedings of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education. 2018. p. 386-386
- BELLIS, Mathews Monoo Pereira de, et al.. **Problema de alocação de horários e suas variações: uma revisão sistemática.** In: ANAIS DO LII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2020, João Pessoa. Anais eletrônicos Campinas, Galoá, 2020. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo-series/sbpo-2020/papers/problema-de-alocacao-de-horarios-e-suas-variacoes--uma-revisao-sistematica>>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- BUENO, Fabrício. **Métodos Heurísticos. Teoria e implementações.** Araranguá: IFSC, 2009.
- BURKE, Edmund K.; NEWALL, James P. **A multistage evolutionary algorithm for the timetable problem.** IEEE transactions on evolutionary computation, v. 3, n. 1, 1999, p. 63-74.
- CALLE-LÓPEZ, D. et al. **A university administration system to automatically assign courses to teachers and support the design of timetables through mathematical modeling and restrictions analysis.** IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE), 2018. p. 1-5.
- CASSIANO, Keila Mara. **Análise de Séries Temporais Usando Análise Espectral Singular (SSA) e Clusterização de Suas Componentes Baseada em Densidade.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2014, cap. 4.
- CHAMPIRI, Zohreh Dehghani et al. **A systematic review of scholar context-aware recommender systems.** Expert Systems with Applications, 42, 2015, p. 1743-1758.
- CHAVES, Antônio Augusto. **Modelagens exata e heurística para resolução do problema do caixeiro viajante com coleta de prêmios.** Relatório Técnico–DECOM, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003. Disponível em: <<http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Orientacoes/OrientacoesConcluidas.htm>>. Acesso em: 02 dez. 2022.
- COLORNI, Alberto et al. **A genetic algorithm to solve the timetable problem.** Politecnico di Milano, Milan, Italy TR, 1992 p. 90-060.



ÇOLAK, Recep & YİĞİT, Tuncay. **The effect of genetic algorithm parameters in the solution of the course timetable problem.** International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), 2017. p. 1090-1094.

DEEKSHA, C. S. et al.. **Automatic timetable generation system.** International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (www.jetir.org), ISSN:2349-5162, Vol.2, Issue 4, 2015, p. 1006-1012, Available :<http://www.jetir.org/papers/JETIR1504029.pdf>.

DEMIROVIĆ, Emir & MUSLIU, Nysret. **MaxSAT-based large neighborhood search for high school timetabling.** Computers & Operations Research, v. 78, 2017, p. 172-180.

DORNELES, Ártion P. et al. **A column generation approach to high school timetabling modeled as a multicommodity flow problem.** European Journal of Operational Research, v. 256, n. 3, 2017, p. 685-695.

EKE, Clement et al. **A case study of model-driven engineering for automated timetabling.** ACM/IEEE 22nd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems Companion (MODELS-C), 2019. p. 203-210.

FERDIANA, Ridi et al. **A pragmatic algorithm approach to develop course timetable web application based on cloud technology.** 7th International Annual Engineering Seminar (InAES), 2017. p. 1-5.

GHAISANI, Febry & SUYANTO, Suyanto. **Discrete Firefly Algorithm for an Examination Timetabling.** International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), 2019. p. 1-4.

JAHWAR, Alan Fuad et al. **An Integrated Gapso Approach for Solving Problem of an Examination Timetabiking System.** IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA), 2021. p. 1-6.

JAIN, Anisha et al. **A Literature Review on Timetable generation algorithms based on Genetic Algorithm and Heuristic approach.** International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, v. 4, n. 4, 2015, p. 159-163.

JÚNIOR, Mário Ferreira Marques et al. **Aplicação de algoritmos genéticos na construção de grades de horários.** Colloquium Exactarum (Online) 7.1 (2015): Colloquium Exactarum (Online), Vol.7 (1), 2015.

KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for performing systematic reviews.** Keele, UK, Keele University, v. 33, n. 2004, 2004, p. 1-26.

KITCHENHAM, Barbara & CHARTERS, Stuart. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.** Technical report EBSE-2007-01: school of computer science and mathematics, Keele University, 2007.

MISHKHAL, Israa et al. **Solving Course Timetabling Problem Based on the Edge Coloring Methodology by Using Jedit.** 1st AL-Noor International Conference for Science and Technology (NICST), 2019. p. 68-72.

NAVARRO, Fernanda & COELHO, Frederico. **Estudo de Coloração Aplicado ao Problema de Alocação de Horário de Professores**. DCC-UNIPACC. Minas Gerais, 2016.

RIBIĆ, Samir et al. **REDOSPLAT: A readable domain-specific language for timetabling requirements definition**. Computer Languages, Systems & Structures, v. 54, 2018, p. 252-272.

ROCHA, Wallace de Sousa. **Algoritmo grasp para o problema de tabela-horário de universidades**. Master's thesis, Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

ROTHLAUF, F. **Optimization Methods**. In: Design of Modern Heuristics. Natural Computing Series, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 45–102, 2011. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-540-72962-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72962-4_3)>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SAVINIEC, Landir et al. **Pattern-based models and a cooperative parallel metaheuristic for high school timetabling problems**. European Journal of Operational Research, v. 280, n. 3, 2020, p. 1064-1081.

SAVINIEC, Landir & CONSTANTINO, Ademir Aparecido. **Effective local search algorithms for high school timetabling problems**. Applied Soft Computing, v. 60, 2017, p. 363-373.

SCHAERF, Andrea et al. **A Survey of Automated Timetabling**. Artificial Intelligence Review. v. 13 1996, p. 87-127.

SKOULLIS, Vassilios I. et al. **Solving the high school timetabling problem using a hybrid cat swarm optimization based algorithm**. Applied Soft Computing, v. 52, 2017, p. 277-289.

SOYEMI, Jumoke et al. **Electronic Lecture Time-table Scheduler using Genetic Algorithm**. IEEE 15th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 15th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 3rd Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech), 2017. p. 710-715.

SUTAR, Sanjay R. et al. **Parallel genetic algorithm for high school timetabling**. Int. J. Comput. Appl, v. 170, 2017, p. 1-5.